

牛尾毛中稳定性碳同位素组成变化规律研究

郭波莉, 魏益民, 潘家荣

(中国农业科学院农产品加工研究所/农业部农业核技术与农产品加工重点实验室, 北京 100094)

摘要: 【目的】研究牛尾毛中稳定性碳同位素组成随饲料改变的变化规律, 确证牛尾毛一旦长成, 其中的稳定性碳同位素不再与其它部分进行交换, 每段毛发记录的同位素信息可反映毛发生长时的饲料信息。【方法】设计控制饲料配比的牛模型试验, 利用同位素比率质谱仪测定不同段位牛尾毛中的 $\delta^{13}\text{C}$ 值, 分析不同段位牛尾毛的 $\delta^{13}\text{C}$ 值随饲料改变的变化趋势, 以及牛尾毛中的 $\delta^{13}\text{C}$ 值与饲料、牛个体的关系。【结果】随着牛生育过程中饲料成分的改变, 不同段位牛尾毛中碳同位素组成有极显著差异, 而且饲料对牛尾毛中碳同位素组成的影响远大于个体对其的影响; 分段取得的牛尾毛 $\delta^{13}\text{C}$ 值与其饲料 $\delta^{13}\text{C}$ 值、 C_4 植物饲料比例呈极显著相关 ($P < 0.01$), 而不分段的牛尾毛 $\delta^{13}\text{C}$ 值与饲料碳同位素组成相关性不显著。【结论】牛尾毛一旦长成, 其中的稳定性碳同位素不再与其它部分进行交换, 每段毛发的同位素信息可反映牛在毛发生长时的饲料信息, 牛尾毛可以看作是记录牛饲料改变信息的档案库。

关键词: 牛; 牛尾毛; 追溯; 稳定性碳同位素

Study on the Changing Law of Stable Carbon Isotope Composition in Cattle Tail Hair

GUO Bo-li, WEI Yi-min, PAN Jia-rong

(Key Laboratory of Agricultural Nuclear Technology and Agro-Food Processing, Ministry of Agriculture/Institute of Agro-Food Science & Technology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100094)

Abstract: 【Objective】 To study the changing law of stable carbon isotope composition in cattle tail hair with the change of feeds composition, and to verify each section of cattle tail hair can't exchange with other sections once it is produced, and it contains isotopic information which can reflect the cattle feeds information from the time when it is produced. 【Method】 The experiment of cattle model was designed by changing the feeds composition, the changed trends of $\delta^{13}\text{C}$ values in different segment of cattle tail hair with the change of feeds composition were analyzed, and the relation of stable carbon isotope composition between cattle tail hair, feeds and individual were analyzed. 【Result】 There was a very significant difference between stable carbon isotope composition in different cattle tail hair segments with the feeds composition changed, and the feeds had more effects on carbon isotopic composition of cattle tail hair than individual. The significant correlations were showed between $\delta^{13}\text{C}$ values of cattle tail hair segment and feeds, and they were significantly correlated with the proportion of C_4 plant of feeds, but there were no significant correlations between $\delta^{13}\text{C}$ values of whole cattle tail hair and feeds. 【Conclusion】 Each section of cattle tail hair can't exchange with other sections once it is produced, and it contains isotopic information which can reflect the cattle feeds information from the time when it is produced, and cattle tail hair can be regarded as an isotopic archives recording feeds changes.

Key words: Cattle; Cattle tail hair; Traceability; Stable carbon isotope

0 引言

【研究意义】食品产地溯源是整个食品链追溯体

系非常重要的一部分, 同位素分析是食品产地溯源的一种有效方法。与植物源产品地域溯源相比, 动物产地溯源比较复杂, 因为动物体中同位素组成既受它们

收稿日期: 2007-08-15; 接受日期: 2007-11-26

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划 (2006BAK02A16); 国家自然科学基金 (30671484)

作者简介: 郭波莉 (1974-), 女, 陕西渭南人, 讲师, 博士, 研究方向为农产品质量与食品安全。Tel: 010-62895141; Fax: 010-62895141; E-mail: guoboli002@sohu.com。通讯作者魏益民 (1957-), 男, 陕西咸阳人, 教授, 博士, 研究方向为食品质量与安全及加工技术。Tel: 010-62815956; Fax: 010-62895141; E-mail: weiyimin36@hotmail.com

食用的植物饲料中同位素组成的影响,也受动物代谢过程中同位素分馏的影响;另外,动物经常食用不同地区来源的饲料,或者整个生长过程在不同地方饲养^[1]。对牛而言,传统养殖的牛追溯比较容易,而育肥牛因饲养地不断转移,追溯比较复杂。因此,随着育肥牛规模的发展,追溯牛的生活史显得尤为重要。动物毛发主要由角蛋白构成,据报道,一旦角蛋白的结构确定,毛发组织的代谢就会停止,其组分不再与其它部分的成分进行交换,每段毛发的同位素信息即记录了牛毛发生长当时食用的饲料信息^[2]。由此推测,牛尾毛是追溯牛生活史的一种可能材料。因此,对牛尾毛中同位素的变化规律研究可为今后牛生活史追溯提供理论依据。【前人研究进展】生物体中同位素指纹是物质的自然标签,它与生物的生长地域密切相关,目前已有利用同位素技术判别葡萄酒^[3-6]、蜂蜜^[7]、饮料^[3,8,9]、谷物^[10,11]、乳制品^[12-20]、肉制品^[21-28]地域来源的相关文献报道。但通过动物毛发中同位素的组成分析追溯动物生活史的研究报道很少。Schwertl 等学者未控制饲料配比,而是随机选取牛个体,对其牛尾毛进行分段分析,对比了不同季节牛尾毛碳同位素组成差异,初步证明了利用牛尾毛追溯牛喂养历史的可

行性^[2]。英国雷丁大学的环境地理化学家斯图尔特·布莱克的研究发现人头发中的 $\delta^{18}\text{O}$ 和 $\delta^2\text{H}$ 与人的生活地域、饮食等密切相关,靠近根部的头发记载着最近的情况,而靠近末端的头发记载的是过去的情况^[29]。【本研究切入点】利用动物毛发中同位素指纹分析追溯动物史的研究仅处于初步探索阶段,而且主要是随机取样,动物的饲料或膳食配比比例并不明确,每段毛发中同位素组成随膳食变化的具体变化规律还不清楚。

【拟解决的关键问题】通过控制饲料中碳同位素组成的牛模型试验,分析不同段位牛尾毛中碳同位素组成随饲料改变的变化趋势,以及牛尾毛中碳同位素组成与饲料、牛个体的关系,以期确证牛尾毛是牛饲养过程中饲料改变信息的档案库。

1 材料与amp;方法

1.1 试验材料

2006年3月,从吉林省榆树市五棵树镇经济开发区牛交易市场购买9头10~12月龄的牛犊,按照不同的饲料配比分3个阶段喂养,每个喂养阶段为3个月。每个阶段结束后屠宰其中3头牛,取牛尾毛样品和该阶段的饲料样品待测。喂养牛的饲料配比方案见表1。

表1 不同喂养阶段牛的饲料配比

Table 1 The proportion of feeds at different phases

	饲料种类 Feeds	每头每餐饲喂量 Diet of a cattle at one meal	每种饲料所占比例 Proportion of each feed (%)	C ₄ 饲料占的比例 Proportion of C ₄ feed (%)
第1阶段 The first phase	稻草 Rice straw	1.25	64.1	12.8
	豆粕 Soybean meal bean dregs	0.20	10.3	
	麦麸 Bran	0.25	12.8	
	玉米面 Maize flour	0.25	12.8	
第2阶段 The second phase	稻草 Rice straw	1.00	35.1	47.4
	豆粕 Soybean meal bean dregs	0.50	17.5	
	玉米面 Maize flour	1.00	35.1	
	玉米酒糟 Distiller' maize	0.35	12.3	
第3阶段 The third phase	玉米秸秆 Maize straw	1.50	39.7	86.8
	豆粕 Soybean meal bean dregs	0.50	13.2	
	玉米面 Maize flour	1.25	33.1	
	玉米酒糟 Distiller' maize	0.53	14.0	

1.2 试验方法

1.2.1 取样方法 牛尾毛:购买牛犊后,在每头牛的尾部选一部位紧贴皮层剪取牛尾毛,装入自封袋中保存。在每次屠宰牛时,在同一部位取牛尾毛样品,测量其长度, -20℃保存待分析。

饲料:采集不同喂养阶段的单一饲料,装入自封袋中-20℃保存待分析。

1.2.2 样品前处理方法 牛尾毛样品用去离子水浸泡清洗,在60℃恒温干燥12h,用氯仿:甲醇(2:1)混合液浸泡2h进行脱脂,用去离子水清洗、浸泡30

min, 再用氯仿: 甲醇 (2:1) 混合液浸泡。最后用去离子水清洗, 60℃干燥, 剪成 1~2 mm 备用^[2]。

饲料: 70℃烘干, 粉碎, 精饲料过 100 目筛, 粗饲料草过 80 目筛。

1.2.3 稳定性碳同位素比率检测 称 500~800 μg 样品, 先经过 Flash EA1112 型元素分析仪转化为纯净的 CO₂ 气体, 再经过型号为 Conflo III 型稀释仪, 最后进入 DELTA^{Plus} Thermo Finnigan 质谱仪进行检测。具体的工作参数如下:

元素分析仪: 进样器氦气吹扫流量为 200 ml·min⁻¹, 氧化炉温度为 1 020℃, 还原炉温度为 650℃, 载气氦气流量为 90 ml·min⁻¹。

Conflo III 条件设定: 氦气稀释压力为 0.6 bar, CO₂ 参考气压力为 0.6 bar。

质谱仪条件: 用 USGS24 ($\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}} = -16.00\%$) 标定 CO₂ 钢瓶, 用标定的钢瓶气作为标准。

稳定性碳同位素比率用 $\delta^{13}\text{C}\%$ 表示, $\delta^{13}\text{C}$ 的相对标准为 V-PDB。计算公式为: $\delta^{13}\text{C}\% = (\text{R}_{\text{样品}}/\text{R}_{\text{标准}} - 1) \times 1000$, 其中 R 为轻同位素与重同位素丰度比, 即 ¹³C/¹²C。

2 结果与分析

2.1 牛尾毛每月生长情况及取样方案

为了研究牛尾毛碳同位素随饲料改变的变化趋

势, 剪取每个阶段被屠宰牛的牛尾毛, 测量其长度, 对其进行分段研究。牛尾毛每月的平均生长速度为 1.50~2.50 cm, 个体之间有一定差异 (表 2)。本试验选取牛尾毛最低的生长速度 1.50 cm 进行分段取样, 即从根部开始, 每 1.50 cm 分为一段, 剩余部分全部归为最后一段。第 1 阶段的牛尾毛分为 3 段, 第 2 阶段的牛尾毛分为 6 段, 第 3 阶段的牛尾毛分为 9 段 (图 1)。

表 2 牛尾毛月平均生长速度

Table 2 Average growing rate of cattle tail hair each month

编号 Number	牛尾毛长度 Length of cattle tail hair (cm)	生长时间 (月) Growth time (month)	平均生长速度 (cm/月) Average rate of growing (cm/month)
1	5	3	1.67
2	5	3	1.67
3	6	3	2.00
4	12	6	2.00
5	10	6	1.67
6	11	6	1.63
7	20	9	2.22
8	22	9	2.44
9	-	-	-

由于 9 号牛的牛尾毛脱落, 无法进行分段取样

The cattle tail hair of No.9 can not be taken because of depilation

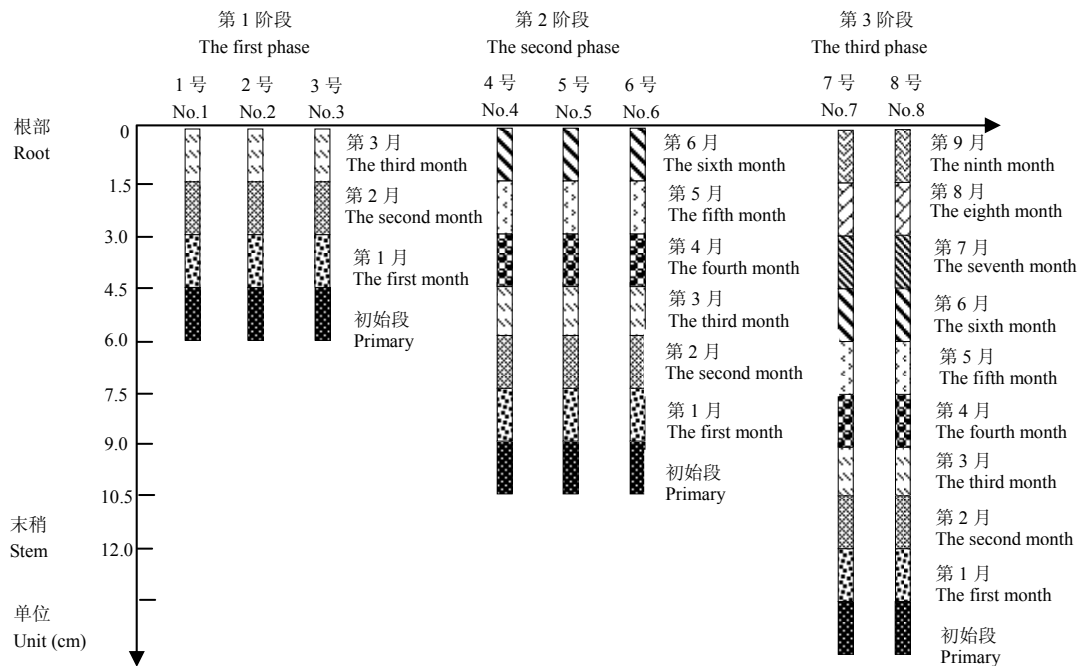


图 1 牛尾毛取样方案

Fig. 1 Methods of cattle tail hair taking

2.2 牛尾毛碳同位素随饲料改变的变化趋势

由于 9 号牛的牛尾毛脱落，只对 8 头牛的牛尾毛进行分析。从每头牛不同段位牛尾毛的 $\delta^{13}\text{C}$ 值随喂养时间的变化趋势可以看出，不同段位牛尾毛的 $\delta^{13}\text{C}$ 值有很大差异（图 2）。通过对每头牛不同段位牛尾毛的 $\delta^{13}\text{C}$ 值的变异系数进行分析，发现不同阶段屠宰的牛，其牛尾毛不同段位 $\delta^{13}\text{C}$ 值变异系数由大到小的次序依次为第 3 阶段 > 第 2 阶段 > 第 1 阶段（表 3）。此结果说明随着饲料成分的改变，牛尾毛不同段位的碳同位素组成有很大差异。这种差异证实了前人的推断，即牛尾毛一旦长成，不再与其它部分进行交换，

每段毛发记录的饲料信息即为同一时间的饲料信息，它是记录牛饲料改变信息的档案库。

此外，通过对同一时间段不同个体之间牛尾毛碳同位素的差异进行比较分析，可以看出，随着相同饲料喂养时间的延长，个体之间碳同位素比值差异缩小，相对集中（图 2、表 4）。初始段牛尾毛的 $\delta^{13}\text{C}$ 值差异最大，变异系数为 25.25%（表 4），这是由于刚购买来的牛来自不同农户，不同农户喂养牛的饲料种类差异较大所致。这说明牛尾毛中碳同位素比值主要受其饲料影响，喂养相同饲料的牛个体之间碳同位素比值差异较小。

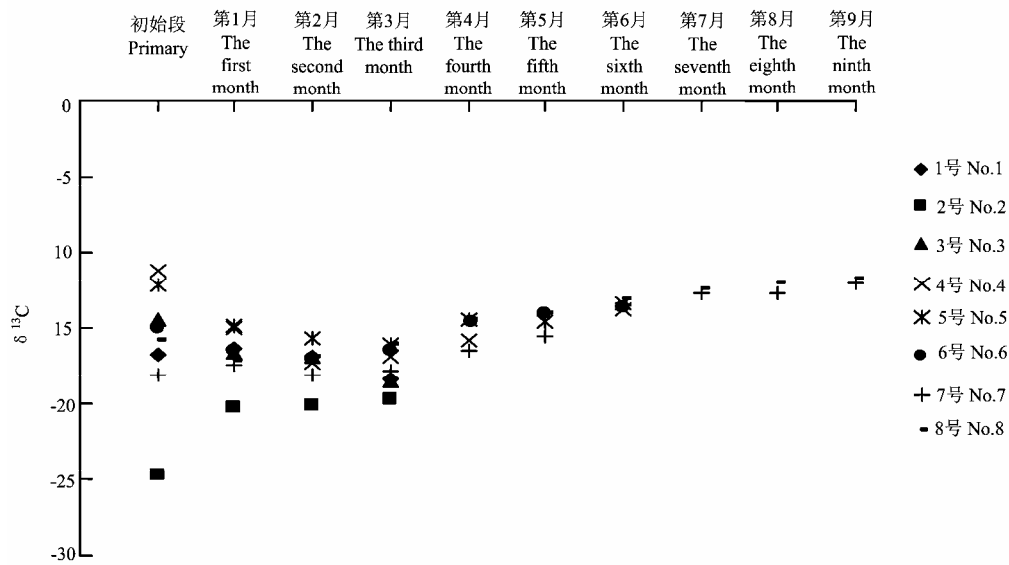


图 2 不同段位牛尾毛 $\delta^{13}\text{C}$ 值变化趋势

Fig. 2 Change trends of $\delta^{13}\text{C}$ value of different hair segments

表 3 牛尾毛不同段位的 $\delta^{13}\text{C}$ 值变异系数

Table 3 Coefficient variance of $\delta^{13}\text{C}$ of different hair segments

编号 Number	第 1 阶段 The first phase			第 2 阶段 The second phase			第 3 阶段 The third phase	
	1	2	3	4	5	6	7	8
喂养时间 (月) Feeding time (month)	3	3	3	6	6	6	9	9
变异系数 Coefficient variance (%)	5.24	10.94	9.97	13.72	9.40	8.38	16.05	13.91
平均 Average	8.72			10.50			14.98	

表 4 牛个体之间不同段位牛尾毛的 $\delta^{13}\text{C}$ 值变异系数

Table 4 The coefficient of variation in $\delta^{13}\text{C}$ value of hair segment from different cattles

时间 Time	初始 Primary	第 1 月 The first month	第 2 月 The second month	第 3 月 The third month	第 4 月 The fourth month	第 5 月 The fifth month	第 6 月 The sixth month	第 7 月 The seventh month	第 8 月 The eighth month	第 9 月 The ninth month
变异系数 Coefficient variance (%)	25.25	10.08	7.62	7.63	6.00	4.16	1.87	1.37	3.78	1.22

2.3 牛尾毛中碳同位素与饲料的相关关系

根据每个喂养阶段各种饲料配比比例及每种饲料的 $\delta^{13}\text{C}$ 值, 可计算出混合饲料的碳同位素比值。计算公式: $\delta A_{\text{混合}} = \delta A_1 \times X_1 + \delta A_2 \times X_2 + \dots + \delta A_n \times X_n$, δA 为每种饲料的同位素比值, X 为每种饲料所占的百分比。

第 1 阶段饲料中的 $\delta^{13}\text{C}$ 值:

$$\begin{aligned} \delta^{13}\text{C} &= \delta^{13}\text{C}_{\text{稻草}} \times X_{\text{稻草}} + \delta^{13}\text{C}_{\text{豆饼}} \times X_{\text{豆饼}} + \delta^{13}\text{C}_{\text{麦麸}} \\ &\times X_{\text{麦麸}} + \delta^{13}\text{C}_{\text{玉米面}} \times X_{\text{玉米面}} \\ &= -26.118\% \times 64.1\% - 25.081\% \times 10.3\% \\ &- 27.158\% \times 12.8\% - 11.321\% \times 12.8\% \\ &= -24.249\% \end{aligned} \quad (1)$$

第 2 阶段饲料中的 $\delta^{13}\text{C}$ 值:

$$\begin{aligned} \delta^{13}\text{C} &= \delta^{13}\text{C}_{\text{稻草}} \times X_{\text{稻草}} + \delta^{13}\text{C}_{\text{豆饼}} \times X_{\text{豆饼}} + \delta^{13}\text{C}_{\text{酒糟}} \\ &\times X_{\text{酒糟}} + \delta^{13}\text{C}_{\text{玉米面}} \times X_{\text{玉米面}} \\ &= -26.273\% \times 35.1\% - 25.236\% \times 17.5\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &- 12.058\% \times 12.3\% - 12.177\% \times 35.1\% \\ &= -19.395\% \end{aligned} \quad (2)$$

第 3 阶段饲料中的 $\delta^{13}\text{C}$ 值:

$$\begin{aligned} \delta^{13}\text{C} &= \delta^{13}\text{C}_{\text{玉米秸秆}} \times X_{\text{玉米秸秆}} + \delta^{13}\text{C}_{\text{豆饼}} \times X_{\text{豆饼}} + \delta^{13}\text{C}_{\text{酒糟}} \\ &\times X_{\text{酒糟}} + \delta^{13}\text{C}_{\text{玉米面}} \times X_{\text{玉米面}} \\ &= -12.157\% \times 39.7\% - 25.448\% \times 13.2\% \\ &- 12.320\% \times 14.0\% - 11.479\% \times 33.1\% \\ &= -13.710\% \end{aligned} \quad (3)$$

从表 5 中可以看出, 牛尾毛与饲料中 $\delta^{13}\text{C}$ 值的相关性取决于其取样部位。根据饲料改变时间分段取得的牛尾毛 $\delta^{13}\text{C}$ 值与其饲料 $\delta^{13}\text{C}$ 值、 C_4 植物饲料比例呈极显著相关性 ($P < 0.01$), 但不分段的牛尾毛 $\delta^{13}\text{C}$ 值与饲料碳同位素组成相关性不显著。饲料中 $\delta^{13}\text{C}$ 值与 C_4 饲料比例呈极显著相关, 相关系数高达 0.99997。以上结果说明, 牛尾毛中 $\delta^{13}\text{C}$ 值与饲料中 $\delta^{13}\text{C}$ 值密切相关, 而饲料中 $\delta^{13}\text{C}$ 值取决于 C_4 植物所占的比例。

表 5 牛尾毛与饲料 $\delta^{13}\text{C}$ 值的相关系数

Table 5 Correlation coefficient of $\delta^{13}\text{C}$ between cattle tissues and their feeds

	分段牛尾毛 $\delta^{13}\text{C}$ 值 $\delta^{13}\text{C}$ value of cattle tail hair segment	整段牛尾毛 $\delta^{13}\text{C}$ 值 $\delta^{13}\text{C}$ value of whole cattle tail hair
饲料 $\delta^{13}\text{C}$ 值 $\delta^{13}\text{C}$ value of feeds	0.884**	0.661
C_4 植物饲料比例 Proportion of C_4 feeds	0.886**	0.664

$r_{7, 0.05} = 0.666$, $r_{7, 0.01} = 0.798$

3 讨论

随着饲料成分的改变, 不同段位牛尾毛中碳同位素组成有很大差异, 而且未屠宰的牛每段牛尾毛中碳同位素变化趋势与屠宰的牛相同。此结果证实了牛尾毛一旦长成, 不再与其它部分进行交换, 每段毛发记录的同位素信息能反映牛在同一时间的饲料信息, 它是记录牛饲料改变信息的档案库。牛尾毛碳同位素组成与其主饲料种类密切相关, 反映饲料中 C_4 与 C_3 植物的比例, 而受牛品种和个体的影响很小, 这与 Schwertl 等^[2,21]的研究结果一致。因此, 不同段位牛尾毛的 $\delta^{13}\text{C}$ 值可作为追溯牛饲料改变情况, 尤其是 C_4 与 C_3 植物比例改变的一项参考指标。但要利用牛尾毛中碳同位素组成确切追溯牛饲料中 C_4 与 C_3 植物比例还需了解牛尾毛中碳同位素组成与其饲料的平衡时间, 以及牛尾毛中碳同位素组成的转化率等问题。Schwertl 等提出牛尾毛中氮同位素与饲料的平衡时间约为 80 d 左右^[2], 但关于牛尾毛碳同位素与饲料的平衡时间、转换率等问题均未进行研究。爱尔兰学者

Harrison 通过控制饲料中 C_4 与 C_3 植物比例的牛模型试验, 分析了牛蹄中碳、氮同位素组成随饲料改变的变化规律, 发现随着饲料成分的改变, 牛蹄中碳同位素的转化率大于氮同位素, 而且在 50 d 左右, 牛蹄中 80% 的同位素与饲料达到平衡, 而剩余的 20% 需要 98 d 后才能与饲料达到平衡。同时, 他们指出动物的毛发、羽毛、牙齿和蹄等组织均可记录动物不同生长时期的环境信息和膳食信息^[30]。结合英国雷丁大学环境地理化学家斯图尔特·布莱克对人头中 $\delta^{18}\text{O}$ 和 $\delta^2\text{H}$ 的研究结果, 可知毛发中氘、氧同位素与动物的地域密切相关。因此, 在今后研究中, 还应对牛尾毛中的氘、氧等其它同位素进行分析, 并要采集大量样品, 建立不同地域牛尾毛中同位素指纹数据库或溯源地图, 借助这些技术才能逐步建立利用牛尾毛追溯牛生活史的技术方法。

4 结论

牛尾毛是由角蛋白构成的一种特殊组织, 不同段位牛尾毛中碳同位素组成可反映牛主饲料中 C_4 与 C_3

植物的比例,它是记录牛在不同生长时期的环境信息和饲料信息的档案库。碳同位素与氮、氘、氧等其它同位素结合分析,有可能建立一套利用牛尾毛追溯牛生活史的技术方法。

References

- [1] Rossmann A, Koziat J, Martin G J, Dennis M J. Determination of the carbon-13 content of sugars and pulp from fruit juices by isotope-ratio mass spectrometry (internal reference method): A European inter-laboratory comparison. *Analytica Chimica Acta*, 1997, 340: 21-29.
- [2] Schwertl M, Auerswald K, Schnyder H. Reconstruction of the isotopic history of animal diets by hair segmental analysis. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 2003, 17: 1312-1318.
- [3] Rossmann A. Determination of stable isotope ratios in food analysis. *Food Reviews International*, 2001, 17(3): 347-381.
- [4] Gremaud G, Quaille S, Piantini U, Pfammatter E, Corvi C. Characterization of Swiss vineyards using isotope data in combination with trace element and classical parameters. *European Food Resources and Technology*, 2004, 219: 97-104.
- [5] Marisa C, Almeida R, Tiresa M, Vasconcelos S D. Does the winemaking process influence the wine $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$? A case study. *Food Chemistry*, 2004, 85: 7-12.
- [6] Coetzee P P, Vanhaecke F. Classifying wine according to geographical origin via quadruple-based ICP-mass spectrometry measurement of boron isotope ratios. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 2005, 383: 977-984.
- [7] Padovan G J, de Jong D, Rodrigues L P, Marchini J S. Detection of adulteration of commercial honey sample by the $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ isotope ratio. *Food Chemistry*, 2003, 82: 633-636.
- [8] Simpkins W A, Patel G, Harrison M, Goldberg D. Stable carbon isotope ratio analysis of Australian orange juices. *Food Chemistry*, 2000, 70: 385-390.
- [9] Serra F, Guillou C G, Reniero F, Ballarin L, Cantagallo M I, Wieser M, Iyer S S, Héberger K, Vanhaecke F. Determination of the geographical origin of green coffee by principal component analysis of carbon, nitrogen and boron stable isotope ratios. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 2005, 19: 2111-2115
- [10] Kelly S, Baxter M, Chapman S, Rhodes C, Dennis J, Brereton P. The application of isotopic and elemental analysis to determine the geographical origin of premium long grain rice. *European Food Resource and Technology*, 2002, 214: 72-78.
- [11] Branch S, Burke S, Evans P, Fairman B, Wollff Briche C S J. A preliminary study in determining the geographical origin of wheat using isotope ratio inductively coupled plasma mass spectrometry with ^{13}C , ^{15}N mass spectrometry. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 2003, 18: 17-22.
- [12] Kornel B E, Roßmann W T A, Schmidt H-L. Measurement of stable isotope abundances in milk and milk ingredients-a possible tool for origin assignment and quality control. *Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und -Forschung A*, 1997, 205: 19-24.
- [13] Ritz P, Gachon P, Garel J-P, Bonnefoy J-C, Coulon J-B, Renou J-P. Milk characterization: effect of the breed. *Food Chemistry*, 2005, 91: 521-523.
- [14] Brescia M A, Caldarella V, Buccolieri G, Dell'Atti A, Sacco A. Chemometric determination of the geographical origin of cow milk using ICP-OES data and isotopic ratios: A preliminary study. *Italian Journal of Food Science*, 2003, 15(3): 329-336.
- [15] Renou J-P, Deponge C, Gachon P, Bonnefoy J-C, Coulon J-B, Garel J-P, Vérité R, Ritz P. Characterization of animal products according to geographic origin and feeding diet using nuclear magnetic resonance and isotope ratio mass spectrometry: cow milk. *Food Chemistry*, 2004, 85: 63-66.
- [16] Rossmann A, Haberhauer G, Hölzl S, Horn P, Pichlmayer F, Voerkelius S. The potential of multielement stable isotope analysis for regional origin assignment of butter. *Europe Food Resource and Technology*, 2000, 211: 32-40.
- [17] Camin F, Wietzerbin K, Cortes A B, Haberhauer G, Lees M, Versini G. Application of multielement stable isotope ratio analysis to the characterization of French, Italian, and Spanish cheeses. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2004, 52: 6952-6601.
- [18] Pillonel L, Badertscher R, Froidevaux P, Haberhauer G, Hölzl S, Horn P, Jakob A, Pfammatter E, Piantini U, Rossmann A, Tabacchi R, Bosset J O. Stable isotope ratios, major, trace and radioactive elements in emmental cheeses of different origins. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*, 2003, 36: 615-623.
- [19] Froidevaux P, Geering J-J, Pillonel L, Bosset J O, Valley J F. ^{90}Sr , ^{238}U , ^{234}U , ^{137}Cs , ^{40}K and $^{239/240}\text{Pu}$ in Emmental type cheese produced in different region of western Europe. *Journal of Environmental Radioactivity*, 2004, 72: 287-298.
- [20] Manca G, Camin F, Coloru G C, Caro A D, Depentori D, Franco M A, Versini G. Characterization of the geographical origin of Pecorino Sardo cheese by casein stable isotope ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ and $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$) ratios and free amino acid ratios. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2001, 49: 1404-1409.
- [21] 郭波莉, 魏益民, 潘家荣, 李 勇, 张福松. 牛不同组织中稳定性

- 碳同位素组成及变化规律研究. 中国农业科学, 2006, 39(9): 1885-1890.
- Guo B L, Wei Y M, Pan J R, Li Y, Zhang F S. Study on the change of stable carbon isotope composition in cattle tissues. *Scientia Agricultura Sinica*, 2006, 39(9): 1885-1890. (in Chinese)
- [22] 郭波莉, 魏益民, 潘家荣, 李 勇. 碳、氮同位素在牛肉产地溯源中的应用研究. 中国农业科学, 2007, 40(2): 365-372.
- Guo B L, Wei Y M, Pan J R, Li Y. Application of carbon and nitrogen isotope in beef origin traceability. *Scientia Agricultura Sinica*, 2007, 40(2): 365-372. (in Chinese)
- [23] Schmidt O, Quilter J M, Bahar B, Moloney A P, Scrimgeour C M, Begley I S, Monahan F J. Inferring the origin and dietary history of beef from C, N and S stable isotope ratio analysis. *Food Chemistry*, 2005, 91: 545-549.
- [24] Boner M, Förstel H. Stable isotope variation as a tool to trace the authenticity of beef. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 2004, 378: 301-310.
- [25] Thiem I, Lüpke M, Seifert H. Factors influencing the $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ -ratio in meat juices. *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 2004, 40(3): 191-197.
- [26] Hegerding L, Seidler D, Danneel H J, Gessler A, Nowak B. Oxygen isotope-ratio-analysis for the determination of the origin of beef. *Fleischwirtschaft*, 2002, 82(4): 95-100.
- [27] Piasentier E, Valusso R, Camin F, Versini G. Stable isotope ratio analysis for authentication of lamb meat. *Meat Science*, 2003, 64: 239-247.
- [28] Sacco D, Brescia M A, Buccoloeri A, Jambrenghi A C. Geographical origin and breed discrimination of Apulian lamb meat samples by means of analytical and spectroscopic determinations. *Meat Science*, 2005, 71: 542-548.
- [29] 周文峰. 同位素判官. 检查风云, 2004, (19): 62-63.
- Zhou W F. Isotope judge. *Inspection of the Time*, 2004, (19): 62-63. (in Chinese)
- [30] Harrison M S, Zazzo A, Bahar B, Monahan J F, Moloney P A., Scrimgeour M C, Schmidt O. Using hooves for high-resolution isotopic reconstruction of bovine dietary history. *Rapid Communication in Mass Spectrometry*, 2007, 21: 479-486.

(责任编辑 曲来娥)